

**VERIFIKASI SISTEM PENGUKURAN TEGANGAN STANDAR AC BERBASIS
METCAL 7,20 BERKETELITIAN MENCAPI 2 PPM**
*Verification of The AC Voltage Standard Measurement Based on METCAL 7,20 With it
Accuracy up to 2 PPM*

Mohamad Syahadi, R. Hadi Sardjono dan Lukluk Khairiyati

Puslit KIM-LIPI Kompleks Puspiptek, Setu, Setu, Tangerang 15314

e-mail: hadisarjono@kim.lipi.go.id

Diajukan: 3 Oktober 2011, Dinilakan: 4 Oktober 2011, Diterima: 14 Februari 2012

Abstrak

Selama ini, pelaksanaan pengukuran tegangan standar AC di sub-divisi Metrologi Kelistrikan, Puslit KIM –LIPI dilakukan dengan menggunakan sebuah instrument sumber standar *Multiproduct Calibrator* berdasarkan sebuah proses pengukuran manual. Proses pengukuran manual ini membutuhkan waktu cukup lama karena rentang ukurnya memiliki dua variabel fungsi yaitu fungsi amplitudo dan frekuensi. Menurut standar analisa ketelitian sistem pengukuran Tipe A, keterlibatan manusia didalam proses pengukuran menentukan optimasi hasil ketelitian pengukuran. Telah dilakukan penelitian terhadap dua proses pengukuran yaitu Manual dan Otomatis berbasis METCAL sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pengukuran Otomatis berbasis METCAL telah dapat meningkatkan ketelitian pengukuran sampai dengan 68 % pada frekuensi 50 Hz dan 77 % pada frekuensi 1000 Hz.

Kata kunci: verifikasi, pengukuran, ketelitian, standar tegangan AC

Abstract

During this time, the application of AC voltage measurement standard in the sub-division of Electrical Metrology, KIM-LIPI Research Center carried out using standard sources of Multiproduct Calibrator instrument is based on manual measurement process. Manual measurement process takes time because the measurement range has two variables function i.e: function of the amplitude and frequency. According to the Type A standard analysis of the accuracy of the measurement system, the involvement of human being in the measurement process determining the measurement accuracy of optimization results. Research conducted on the two-process measurement of Manual and Automatic based on METCAL so it can be concluded that the measurement process based on METCAL Auto has been able to improve the measurement accuracy up to 68% on frequency of 50 Hz and 77% at a frequency of 1000 Hz.

Keywords: verification, measurement, accuracy, AC voltage standard

1. PENDAHULUAN

Pelayanan pengukuran DMM (*Digital Multimeter*) 6,5 digit untuk besaran standar tegangan AC telah dilakukan di Puslit. KIM – LIPI dengan menggunakan sebuah instrumen standar tipe *multiproduct calibrator* 7,5 digit. Sampai saat ini pelaksanaan pengukuran telah dilakukan secara manual di rentang tegangan (0,220 – 1000) V pada frekuensi operasional (0,050 – 1) kHz. Sesuai prosedur standar laboratorium, pelaksanaan pengukuran pada setiap rentang tegangan dengan masing masing pada beberapa nilai frekuensi telah dilakukan sebanyak 5 kali. Sehingga apabila disetiap rentang tegangan diukur pada 5 nilai frekuensi maka untuk 5

rentang tegangan pengukuran harus melakukan pengukuran sebanyak 125 kali.

Selaras dengan kebutuhan pelayanan yang meningkat dan dengan adanya perkembangan perangkat lunak yang semakin pesat maka program pengukuran berbasis METCAL menjadi sangat penting untuk menggantikan sistem pengukuran secara manual. Sistem pengukuran berbasis METCAL ini mampu meningkatkan ketelitian proses pengukuran karena dapat mengeliminasi perbedaan waktu pembebanan pada saat proses pengukuran berlangsung. Perbedaan waktu pembebanan yang mempengaruhi tingkat stabilitas hasil pengukuran pada rangkaian pengukuran dapat dihilangkan dengan cara menyamakan interval waktu antar pengukuran.

Karena dari aspek implementasi sistem pengukuran berbasis METCAL ini tidak merubah komponen rangkaian pengukuran dan dapat meminimalisasi keterlibatan operator maka dalam penelitian ini akan dilakukan metoda verifikasi data berbasis evaluasi nilai standar deviasi.

Sebuah proses pengukuran berlangsung dengan benar apabila kondisi rangkaian tertutup yang terjadi dimana sumber kalibrator terhindar dari efek pembebanan. Efek pembebanan ini termonitor oleh proses pendataan meter yang dikalibrasi. Untuk mendapatkan interval waktu pendataan meter dengan tingkat kestabilan yang sebenarnya dibutuhkan tingkat kecermatan yang tinggi. Tingkat kecermatan tersebut dapat dipenuhi dengan dukungan proses pendataan yang bisa difasilitasi oleh perangkat lunak karena bebas dari faktor kelelahan.

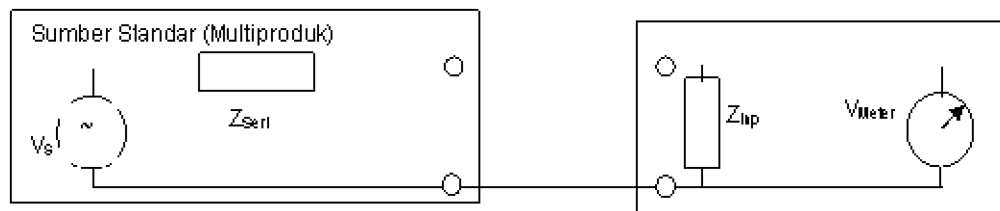
Proses pendataan adalah sebuah proses perekaman data dari hasil ukur meter (operator) yang dilakukan pada interval waktu tertentu. Kondisi ideal perekaman data ulang dari meter adalah apabila data terukur terkondisikan pada interval waktu yang sama. Sehingga pendataan terjadi ketika kondisi meter berada pada tingkat pembebanan yang sama. Dalam penelitian ini telah disajikan sebuah metoda perbandingan proses pendataan dalam sebuah sistem

pengukuran dengan interval waktu pembebanan yang METCAL).

Analisa proses pendataan dilakukan melalui sebuah model matematis yang terbentuk berdasarkan sebuah sistem pengukuran tegangan AC dimana standar kalibrator multiproduk mengkalibrasi sebuah meter. Model matematis ini digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber ketidakpastian kalibrasi termasuk sumber ketidakpastian proses pendataan secara manual dan secara terprogram. Dari hasil analisa yang dilakukan dalam penelitian ini telah menunjukkan bahwa sistem pengukuran tegangan AC di beberapa rentang (lihat Tabel 3 dan 4) yang berbasis METCAL dapat meningkatkan ketelitian pengukuran mencapai 68 % pada frekuensi 50 Hz dan 77 % pada frekuensi 1000 Hz.

2. EFEK PEMBEBANAN PADA RANGKAIAN PENGUKURAN

Sistem pengukuran sebuah meter dengan menggunakan metode langsung yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan secara diagram seperti terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Rangkaian Sistem Pengukuran Meter dengan Metode Langsung

Menurut hukum *Joule* bahwa Z_{inp} akan memancarkan daya sebagai akibat dari eksitasi V yang diukur sebagai panas. Daya panas ini (lihat persamaan 1) akan terpancar ke ruang sekitar. Jika panas yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan panas yang dipancarkan maka suhu Z_{inp} akan terus naik sampai mencapai titik persamaan suhu (ekivalensi) yang dihasilkan maka diartikan bahwa suhu Z_{inp} telah stabil.

$$P_{panas} = \int_0^t I^2 \cdot Z_{inp} dt \text{ Joule} \quad (1)$$

dimana,

P_{Panas} : daya panas (joule)

I : arus yang mengalir pada Z_{inp} akibat dari eksitasi tegangan V (ampere)

Z_{inp} : tahanan masukan dari meter ()

T : interval waktu yang dibutuhkan oleh Z_{inp} mencapai tunak (detik)

Pada proses pengukuran yang benar pendataan harus dilakukan dengan interval waktu yang sama sehingga kondisi penstabilitas meter pada saat terdata tidak dipengaruhi oleh pemanasan lebih atau pemanasan kurang. Pendataan yang dilakukan secara manual (dengan operator manusia) berkecenderungan untuk terjadinya gangguan pengaruh pemanasan tersebut.

3. SISTEM PENGUKURAN TEGANGAN AC

Secara operasional, proses pengukuran dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu proses pengukuran

manual dan proses pengukuran otomatis. Pada proses pengukuran manual, langkah operasional penetapan rentang dan pembacaan data dilakukan secara manual sedangkan yang lainnya dilakukan secara otomatis. Dalam penelitian ini diketengahkan kedua proses pengukuran tersebut pada sebuah sistem pengukuran berdasarkan pengukuran langsung dimana instrumentasi standar (Sumber tegangan AC dari sebuah *Multifunction Calibrator*) dan instrumentasi yang dikalibrasi/UUT (Meter tegangan AC dari sebuah Voltmeter) dikoneksi secara langsung tanpa instrumentasi bantu (lihat Gambar 2)

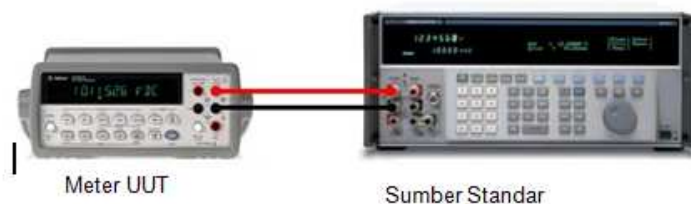
Tingkat ketelitian pada proses sistem pengukuran ditentukan oleh tingkat keterlibatan dalam proses operasional yang dilakukan oleh operator manusia dan sistem komputer. Ketelitian didalam proses pengukuran membutuhkan konsistensi yang tinggi dalam hal waktu akusisi data maupun waktu pembebanan pada pengaturan pemindahan rentang ukur. Oleh sebab itu, dapat dipastikan bahwa semakin sedikit keterlibatan operator manusia dalam proses pengukuran dapat meningkatkan pencapaian ketelitian sistem pengukuran.

Sesuai dengan kasus yang sering terjadi di laboratorium metrologi kelistrikan Puslit. KIM – LIPI, bahwa proses pengukuran yang membutuhkan waktu penanganan cukup lama adalah di besaran tegangan AC. Jumlah rentang pengukuran yang ditentukan selain

diperhitungkan berdasarkan nilai amplitude juga berdasarkan nilai frekuensinya. Artinya bahwa untuk rentang 10 V saja perlu dilakukan proses pengukuran pada beberapa frekuensi kerja didalam interval dari 10 Hz sampai dengan 1 MHz.

3.1 Proses Pengukuran Manual

Pada proses pengukuran ini terjadi kegiatan akusisi (pencatatan) data yang dilakukan dengan mencatat nilai yang terbaca oleh instrumentasi dan kegiatan pemindahan rentang pengukuran yang dilakukan dengan memindah aktivasi tombol pilih sesuai dengan rentang ukur yang diinginkan secara manual. Ketelitian pencatatan nilai data pengukuran secara manual ditentukan oleh kemampuan membaca data yang tidak bisa dijamin konsisten dengan selang waktu tertentu dan biasanya hanya didukung oleh sejumlah data yang terbatas (biasanya 5 kali pengukuran). Interval waktu pemindahan rentang ukur pada proses pengukuran manual sangat sulit dilakukan secara konsisten sehingga untuk mendapatkan efek pembebanan karena proses kontak disetiap rentang pengukuran tidak bisa sama. Rangkaian pengukuran yang terdiri dari dua unit instrumentasi yaitu sebagai standar tegangan AC berupa sebuah sumber *multifunction calibrator* dan sebagai UUT tegangan AC berupa sebuah meter adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Rangkaian Sistem Pengukuran Langsung secara Manual

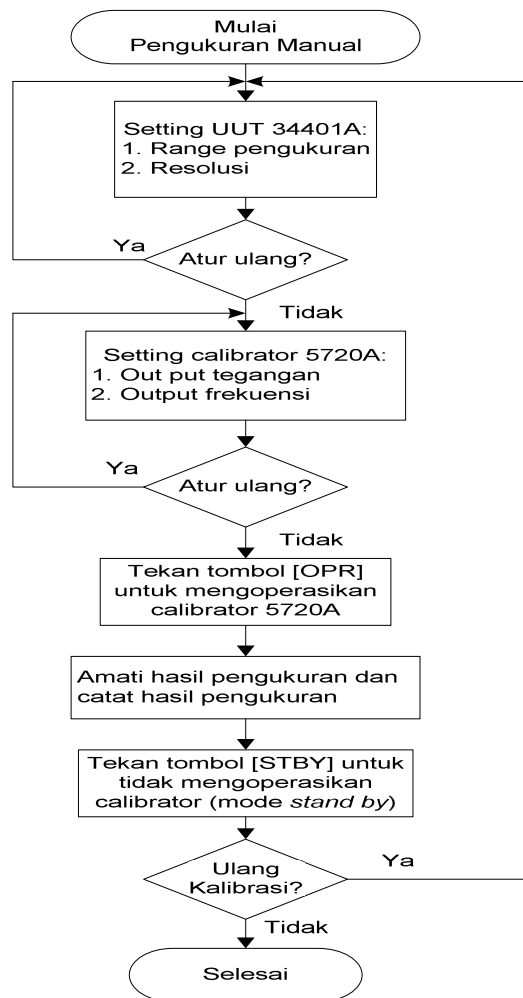
Teknis pelaksanaan proses pengukuran secara manual dilakukan berdasarkan langkah langkah sebagai berikut:

- Menyetel instrumentasi standar dan UUT pada kondisi operasi *stand by* selama minimal 2 jam sehingga ketelitian operasional dapat diperoleh secara optimum,
- Menyetel rentang instrumentasi standar dan UUT pada nilai pengukuran yang ditetapkan,
- Menyetel instrumentasi standar dan UUT pada kondisi operasi ON yang menyatakan

bahwa proses pengukuran telah berlangsung,

- Memperhatikan nilai hasil pengukuran sampai pada kondisi paling stabil kemudian dicatat (direkam) sebagai data pengukuran
- Mengulangi langkah ke 2 sampai langkah ke 4 sebanyak 5 kali.

Langkah langkah sederhana proses pengukuran diatas dapat diterjemahkan kedalam sebuah bentuk diagram alir seperti terlihat pada Gambar 3 dibawah ini:.



Gambar 3 Bagan Alir Sebuah Proses Pengukuran Manual

3.2 Proses Pengukuran Otomatis Berbasis METCAL

Pada proses pengukuran ini terjadi kegiatan akusisi (pencatatan) data yang dilakukan dengan merekam nilai yang terbaca oleh instrumentasi dan kegiatan pemindahan rentang pengukuran yang dilakukan dengan memindah aktivasi tombol pilih sesuai dengan rentang ukur yang diinginkan secara otomatis (komputerisasi). Ketelitian pencatatan nilai data pengukuran secara otomatis ditentukan oleh kemampuan membaca data yang konsisten dalam selang waktu tertentu dan bisa didukung oleh jumlah data yang tidak terbatas (bisa lebih dari 5 kali pengukuran). Interval waktu pemindahan rentang ukur pada proses pengukuran otomatis dapat dijamin secara konsisten sehingga bisa mendapatkan efek pembebanan karena proses kontak disetiap rentang pengukuran yang sama. Rangkaian pengukuran yang terdiri dari dua unit instrumentasi serta unit pendukung

komputerisasi dengan standar tegangan AC berupa sebuah sumber *multifunction calibrator* dan sebagai UUT tegangan AC berupa sebuah meter dapat dilihat seperti Gambar 3.

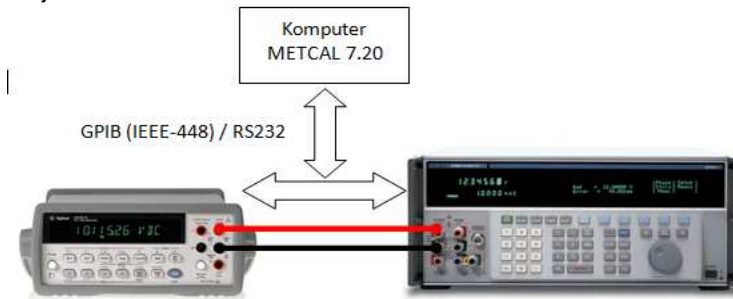
Unit pendukung komputerisasi sistem pengukuran ini adalah berupa perangkat lunak METCAL yang secara teknis operasionalnya didukung oleh perlengkapan IEEE-488 bus (GPIB) atau RS232 port [2] sehingga kegiatan pengukuran dapat dilaksanakan secara terprogram. Pelaksanaan komunikasi dan kontrol antara UUT (*Unit Under Test*) dengan sumber standar dapat dilakukan dengan cepat dan mudah karena program METCAL dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna (*programmer*).

Berdasarkan implementasi program METCAL kedalam sistem pengukuran tegangan AC standar ini maka proses pengukuran dapat dilakukan berdasarkan rangkaian pengontrolan antara beberapa

perangkat pengukuran menggunakan GPIB (IEEE 448) seperti terlihat di Gambar 4.

pemrograman METCAL seperti terlihat di Gambar 5.

Langkah awal proses pengukuran harus dirancang sesuai dengan prosedur pengukuran, yang apabila di terjemahkan dalam bahasa



Gambar 4 Rangkaian Sistem Pengukuran Langsung secara Otomatis

```

MET/CAL Editor [ C:\metcal\proclsyahat\2.Project_AC ] - [Project_AC Voltage HP 34401A]
File Edit Compile Test Run Configure Tools Security Window About...
KIM LIPI MET/CAL Procedure
=====
INSTRUMENT: Project_AC Voltage HP 34401A
DATE: 2011-04-29 14:15:33
AUTHOR: User Fluke5
REVISION:
ADJUSTMENT THRESHOLD: 70%
NUMBER OF TESTS: 41
NUMBER OF LINES: 235
CONFIGURATION: Fluke 5720A
=====
STEP FSC RANGE NOMINAL TOLERANCE MOD1 MOD2 3 4 COM
1.001 ASK- R Q N P F V
1.002 MS720 C2
1.003 DISP Connect the 5720A to the UUT as follows:
1.003 DISP 5720A FRONT OUTPUT HI to 34401A FRONT INPUT HI
1.003 DISP 5720A FRONT OUTPUT LO to 34401A FRONT INPUT LO
1.004 PIC 5720Ato34401A.JPG
1.005 IEEE *RST;*CLS;*OPC?[I]
1.006 HEAD { ***** AC Voltage Measurement ***** }
1.007 HEAD {}
1.008 MATH M[1]=1
1.009 WHILE (M[1] <= 5 )
1.010 IF (M[1] == 1 || M[1] == 3 || M[1] == 5 )
1.011 MATH MEM2 = M[1]
1.012 HEAD {*****-- Measurement to = [MEM2] --*****}
1.013 HEAD {AC Voltage Test: 100 mV}
1.014 TARGET
1.015 IEEE CONF:VOLT:AC 100mV,0.0001mV::DET:BAND 20;*OPC?[I]
1.016 5720 22.00000mV 50H S 2W
1.017 IEEE READ?[I]
1.018 MATH MEM = MEM / 1e-3
1.019 MEMCX 100 mV 3.0000U 50H S 2W
2.001 5720 22.00000mV 1kH S 2W
2.002 IEEE READ?[I]
2.003 MATH MEM = MEM * 1000
2.004 MEMCX 100 mV 3.0000U 1kH
=====
NUM 173 150

```

Gambar 5 Contoh Tampilan Source Code pada METCAL

Ada beberapa *source code* utama yang terdapat dalam penelitian kali ini, sebagai berikut:

a. Konfigurasi untuk UUT

```
IEEE CONF:VOLT:AC 100mV,0.0001mV;;DET:BAND
20;*OPC?[I]
```

Keterangan:

Menyetel UUT melalui GPIB (IEEE-488) pada rentang (*range*) pengukuran 100mV, dengan resolusi digit nya 6,5 digit, dengan detector bandwidth 20 Hz – 300kHz

b. Menyetel sumber standar tegangan standar AC

```
5720 22.00000mV 50H S 2W
```

Keterangan:

Memprogram *calibrator* 5720A pada output 22mV, dan frekuensi 50Hz, dengan koneksi 2-*wire*

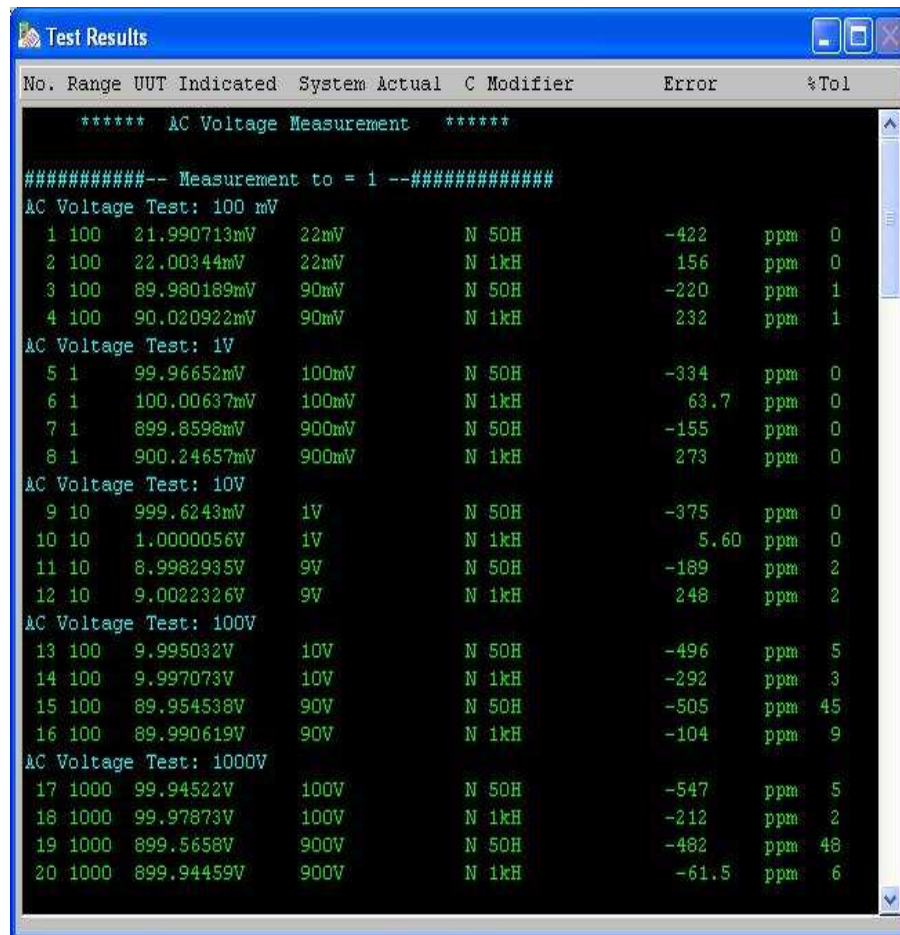
c. Pembacaan hasil ukur

```
IEEE READ?[I]
```

Keterangan:

Dari perintah di atas, maka komputer akan membaca hasil pembacaan dari alat ukur UUT.

Gambar 6 berikut adalah tampilan dari METCAL saat dijalankan (*run*) beserta hasil pengukurannya.

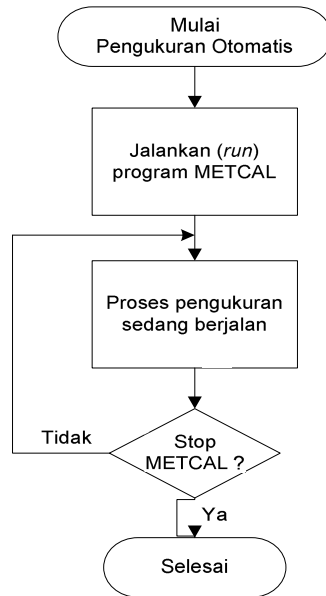


No.	Range	UUT Indicated	System Actual	C Modifier	Error	%Tol
***** AC Voltage Measurement *****						
#####-- Measurement to = 1 --#####						
AC Voltage Test: 100 mV						
1	100	21.990713mV	22mV	N 50H	-422 ppm	0
2	100	22.00344mV	22mV	N 1kH	156 ppm	0
3	100	89.980189mV	90mV	N 50H	-220 ppm	1
4	100	90.020922mV	90mV	N 1kH	232 ppm	1
AC Voltage Test: 1V						
5	1	99.96652mV	100mV	N 50H	-334 ppm	0
6	1	100.00637mV	100mV	N 1kH	63.7 ppm	0
7	1	899.8598mV	900mV	N 50H	-155 ppm	0
8	1	900.24657mV	900mV	N 1kH	273 ppm	0
AC Voltage Test: 10V						
9	10	999.6243mV	1V	N 50H	-375 ppm	0
10	10	1.0000056V	1V	N 1kH	5.60 ppm	0
11	10	8.9982935V	9V	N 50H	-189 ppm	2
12	10	9.0022326V	9V	N 1kH	248 ppm	2
AC Voltage Test: 100V						
13	100	9.995032V	10V	N 50H	-496 ppm	5
14	100	9.997073V	10V	N 1kH	-292 ppm	3
15	100	89.954538V	90V	N 50H	-505 ppm	45
16	100	89.990619V	90V	N 1kH	-104 ppm	9
AC Voltage Test: 1000V						
17	1000	99.94522V	100V	N 50H	-547 ppm	5
18	1000	99.97873V	100V	N 1kH	-212 ppm	2
19	1000	899.5658V	900V	N 50H	-482 ppm	48
20	1000	899.94459V	900V	N 1kH	-61.5 ppm	6

Gambar 6 Tampilan Hasil Pengukuran

Adapun *flowchart* untuk proses pengukuran secara otomatis seperti terlihat pada Gambar 7. Proses pengukuran secara otomatis memiliki langkah yang lebih sederhana. Dimana hanya menjalankan (*run*) *software* METCAL selanjutnya proses pengukuran akan berjalan

secara otomatis. Yang lebih ditekankan dalam pengukuran otomatis adalah dalam pembuatan *source code*-nya. Saat memprogram sebuah *software*, seorang programmer harus mengetahui karakteristik dan spesifikasi dari alatnya.



Gambar 7 Flowchart Pengukuran secara Otomatis

Dengan demikian maka secara definitif proses pengukuran otomatis ini dapat disederhanakan seperti berikut:

- Menyetel secara manual instrumentasi standar dan UUT pada kondisi operasi *stand by* selama minimal 2 jam sehingga ketelitian operasional dapat diperoleh secara optimum,
- Menyetel secara otomatis rentang instrumentasi standar dan UUT pada nilai pengukuran yang ditetapkan,
- Menyetel secara otomatis instrumentasi standar dan UUT pada kondisi operasi ON yang menyatakan bahwa proses pengukuran telah berlangsung,
- Memperhatikan secara otomatis nilai hasil pengukuran sampai pada kondisi paling

stabil kemudian dicatat (direkam) sebagai data pengukuran,

- Mengulangi langkah ke 2 sampai langkah ke 4 sebanyak 5 kali.

4. DATA HASIL PENGUKURAN BERDASARKAN PROSES PENGUKURAN MANUAL DAN OTOMATIS

Sebagai bahan penelitian cuplikan data pengukuran dilakukan hanya pada beberapa rentang. Tabel 1 adalah hasil pencatatan data yang didapat dari proses pengukuran manual.

Sedangkan Tabel 2 adalah hasil pencatatan data yang di dapat dari proses pengukuran otomatis.

Tabel 1 Hasil Pengukuran yang Dilakukan secara Manual

NO	Range Alat	Penunjukan STD	Frek	Penunjukan Alat (Volt)				
				1	2	3	4	5
1	100 mV	22.00000 mV	50 Hz	21,9985	21,9931	21,9945	21,9992	21,9906
2			1 kHz	22,0025	22,0037	22,0035	22,0045	22,0039
4		90.00000 mV	50 Hz	89,9842	89,9819	89,9859	89,9821	89,9886
5			1 kHz	90,0194	90,0214	90,0216	90,0211	90,0213
7	1 V	0.1000000 V	50 Hz	0,099966	0,099968	0,099971	0,099967	0,099973
8			1 kHz	0,100002	0,100009	0,100007	0,100004	0,100006
10		0.9000000 V	50 Hz	0,899855	0,899867	0,899871	0,899865	0,899867
11			1 kHz	0,900243	0,900261	0,900257	0,900258	0,900256

NO	Range Alat	Penunjukan STD	Frek	Penunjukan Alat (Volt)				
				1	2	3	4	5
12	10 V	1.0000000 V	50 Hz	0,99967	0,99968	0,99967	0,99971	0,99971
13			1 kHz	1,00005	1,00011	1,00008	1,00013	1,00008
14		9.0000000 V	50 Hz	8,99831	8,99845	8,99851	8,99839	8,99843
15			1 kHz	9,00224	9,00241	9,00239	9,00232	9,00239
16	100 V	10.00000 V	50 Hz	9,9942	9,9933	9,9957	9,9945	9,9947
17			1 kHz	9,9975	9,9965	9,9971	9,9973	9,9972
18		90.00000 V	50 Hz	89,9545	89,9566	89,9556	89,9584	89,9567
19			1 kHz	89,9907	89,9933	89,9923	89,9953	89,9923
20	1000 V	100.0000 V	50 Hz	99,938	99,945	99,938	99,963	99,957
21			1 kHz	99,972	99,977	99,973	99,972	99,976
22		900.0000 V	50 kHz	899,529	899,545	899,556	899,546	899,554
23			1 kHz	899,935	899,925	899,934	899,938	899,929

Tabel 2 Hasil Pengukuran yang Dilakukan secara Otomatis

NO	Range Alat	Penunjukan STD	Frek	Penunjukan Alat (Volt)				
				1	2	3	4	5
1	100 mV	22.00000 mV	50 Hz	21,9946	21,9986	21,9996	21,9978	21,9929
2			1 kHz	22,0034	22,0033	22,0032	22,0043	22,0042
4		90.00000 mV	50 Hz	89,9842	89,9846	89,9879	89,9839	89,9822
5			1 kHz	90,0245	90,0232	90,0228	90,0229	90,0234
7	1 V	0.1000000 V	50 Hz	0,099968	0,099969	0,099968	0,099972	0,099972
8			1 kHz	0,100007	0,100012	0,100009	0,100012	0,100009
10		0.9000000 V	50 Hz	0,899891	0,899885	0,89989	0,99893	0,899889
11			1 kHz	0,900279	0,900274	0,900272	0,900275	0,900273
12	10 V	1.0000000 V	50 Hz	0,99972	0,99972	0,99977	0,99976	0,99973
13			1 kHz	1,00012	1,00008	1,00014	1,00016	1,0001
14		9.0000000 V	50 Hz	8,99858	8,99854	8,99865	8,99856	8,9986
15			1 kHz	9,00258	9,00245	9,00261	9,00253	9,00255
16	100 V	10.00000 V	50 Hz	9,9942	9,9936	9,9947	9,9937	9,9953
17			1 kHz	9,9976	9,9971	9,9968	9,9973	9,9975
18		90.00000 V	50 Hz	89,9558	89,9559	89,9557	89,9564	89,9563
19			1 kHz	89,9918	89,9921	89,9916	89,9924	89,9921
20	1000 V	100.0000 V	50 Hz	99,942	99,959	99,946	99,942	99,963
21			1 kHz	99,975	99,973	99,976	99,975	99,978
22		900.0000 V	50 kHz	899,562	899,554	899,557	899,567	899,579
23			1 kHz	899,945	899,936	899,948	899,942	899,947

5. ANALISA DATA

Berdasarkan implementasi sistem pengukuran yang dipergunakan adalah langsung maka model matematis yang dapat diturunkan adalah seperti berikut:

$$X_{UUT}(V) = X_{std}(V) + \Delta_{UUT-std}(V)$$

dimana:

X_{UUT} : nilai pembacaan UUT (volt),

X_{Std} : nilai pembacaan standar (volt), dan

$\Delta_{UUT-Std}$: nilai kesalahan terukur (volt).

karena:

$$X_{std}(V) = X_{no\ min\ al}(V) + \Delta_{std-no\ min\ al}$$

maka persamaan awal diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$X_{UUT}(V) = X_{no\ min\ al}(V) + \Delta_{std-no\ min\ al}(V) + \Delta_{UUT-std}(V)$$

Hasil nilai ketidakpastian sebuah sistem pengukuran dapat diperoleh selain dari nilai ketidakpastian karena kesalahan *random* (statistik/acak) yang disebut sebagai sumber ketidakpastian Tipe A juga karena nilai ketidakpastian karena kesalahan sistem (non statistik) yang disebut sebagai sumber ketidakpastian Tipe B. Nilai ketidakpastian Tipe A merupakan tingkat ketidakstabilan instrumentasi (*readability*) pada saat pengukuran ketika berada dalam rangkaian sistem pengukuran.

Sedangkan nilai ketidakpastian tipe B adalah nilai kestabilan instrumentasi standar yang diperoleh dari:

- sertifikat pengukuran,

- spesifikasi manual yang dilaporkan berdasarkan rekaman historikal (karakteristik) pengukuran pada interval tertentu dan pada umumnya tertera sebagai stabilitas alat (*drift*),
- resolusi definitif (kemampuan baca UUT pada kondisi pasif), dan
- analisa *emf thermal* pada koneksi-koneksi yang ada di rangkaian sistem pengukuran dimana secara visual dapat diamati oleh resolusi deskriptif (kemampuan baca UUT pada kondisi aktif).

Sehingga apabila semua nilai ketidakpastian sistem pengukuran ini dijumlahkan maka adakan didapat sebuah formula sebagai berikut:

$$u_i^2(x_1) = c_1^2 \cdot u_1^2(x_1)_{readability} + c_2^2 \cdot u_2^2(x_2)_{STD} + c_3^2 \cdot u_3^2(x_3)_{STD.Drift} + c_4^2 \cdot u_4^2(x_4)_{UUT.Res} + c_5^2 \cdot u_5^2(x_5)_{connection}$$

Didalam penelitian ini telah dilakukan sebuah sistem pengukuran langsung untuk besaran tegangan AC dengan menggunakan dua proses pengukuran yaitu manual dan otomatis (berbasis METCAL). Berdasarkan teknis pelaksanaan dari kedua proses pengukuran ini, sumber sumber nilai ketidakpastian dapat diidentifikasi berdasarkan komponen komponen yang dilibatkan dimasing masing sistem pengukurannya. Hasil verifikasi dapat diperoleh dengan menghitung beda nilai ketidakpastian Tipe A karena dari kedua rangkaian proses pengukuran tersebut tidak merubah kondisi komponen komponen yang memiliki nilai ketidakpastian Tipe B. Oleh karena itu secara kalkulus persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} u_i^2(x_1) &= c_1^2 \cdot u_1^2(x_1)_{readability-1} + c_2^2 \cdot u_2^2(x_2)_{STD} + c_3^2 \cdot u_3^2(x_3)_{STD.Drift} + c_4^2 \cdot u_4^2(x_4)_{UUT.Res} + c_5^2 \cdot u_5^2(x_5)_{connection} \\ u_j^2(x_1) &= c_1^2 \cdot u_1^2(x_1)_{readability-2} + c_2^2 \cdot u_2^2(x_2)_{STD} + c_3^2 \cdot u_3^2(x_3)_{STD.Drift} + c_4^2 \cdot u_4^2(x_4)_{UUT.Res} + c_5^2 \cdot u_5^2(x_5)_{connection} \\ (u_i^2 - u_j^2)(x_1) &= c_1^2 \cdot u_1^2(x_1)_{readability-1} - c_1^2 \cdot u_1^2(x_1)_{readability-2} \end{aligned}$$

dimana:

$(u_i^2 - u_j^2)(x_1)$ adalah beda nilai ketidakpastian proses pengukuran antara manual dan otomatis

$c_1 \dots c_5$ adalah konstanta ketidakpastian yang nilainya sama dengan 1 karena menggunakan metode pengukuran langsung

Oleh karena beda nilai ketidakpastian pengukuran *readability* dari masing masing proses pengukuran manual maupun otomatis berdasarkan jumlah data yang sama maka untuk menyederhanakan analisa dipergunakan nilai

standar deviasi dan ketidakpastian pengukuran Tipe A. Berdasarkan data dari pengukuran diatas maka dapat di hitung nilai standar deviasi dan nilai ketidakpastian pengukuran baik berdasarkan proses pengukuran manual

maupun otomatis dengan menggunakan persamaan umum sebagai berikut:

Untuk proses pengukuran manual pada rentang ukur 0,1 V/50 Hz, diperoleh nilai standar deviasi dan ketidakpastian pengukuran sebesar

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - VM)^2}$$

$$= 2.92 \times 10^{-6} \text{V}$$

dan

$$U_1 = ESDM = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{2.92 \times 10^{-6}}{\sqrt{5}} = 1.30 \times 10^{-6}$$

Keterangan:

Tabel 3 Hasil Perhitungan Nilai Standard Deviasi (S), Ketidakpastian Pengukuran (U) dan Peningkatan Ketelitian Pengukuran (UM-O) pada Frekuensi 50 Hz

Rentang (V)	S _{Manual}	U _{Manual} (V)	U _{Manual} (ppm)	S _{Otomatis}	U _{Otomatis} (V)	U _{Otomatis} (ppm)	Peningkatan Ketelitian U _{M-O} (%)
0,022	3,64E-06	1,6E-06	74	2,83E-06	1,3E-06	58	29
0,09	2,80E-06	1,3E-06	14	2,08E-06	9,3E-07	10	35
0,1	2,92E-06	1,3E-06	13	2,05E-06	9,2E-07	9	42
0,9	6,00E-06	2,7E-06	3	2,97E-06	1,3E-06	1	102
1	2,05E-05	9,2E-06	9	2,35E-05	1,1E-05	11	-13
9	7,43E-05	3,3E-05	4	4,22E-05	1,9E-05	2	76
10	8,67E-04	0,00039	39	7,11E-04	0,00032	32	22
90	1,45E-03	0,00065	7	3,11E-04	0,00014	2	366
100	1,13E-02	0,00505	51	9,91E-03	0,00443	44	14
900	1,07E-02	0,00479	5	9,83E-03	0,0044	5	9

Peningkatan ketelitian pengukuran dari proses pengukuran Manual ke Otomatis untuk masing frekuensi 50 Hz dan 1000 Hz telah ditunjukkan cukup signifikan oleh hasil analisa data pengukuran (lihat tabel 3 dan 4). Peningkatan ketelitian dihitung dengan sebuah persamaan sederhana seperti berikut:

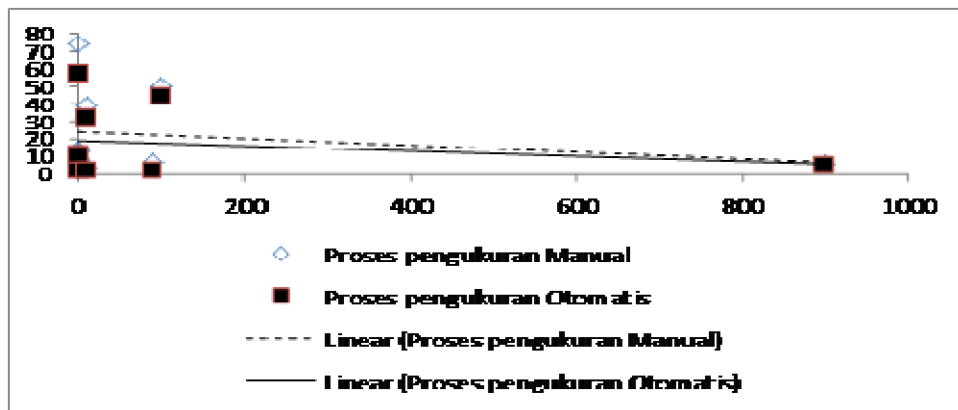
$$U_{M-O}(\%) = \left(\frac{U_{Manual} - U_{Otomatis}}{U_{Otomatis}} \right) \times 100 \%$$

Peningkatan ketelitian pengukuran yang dihasilkan (lihat Tabel 3 dan 4 pada kolom 4 dan

$\sqrt{5}$ = banyaknya pengukuran adalah 5

Sedangkan nilai standar deviasi dan ketidakpastian pengukuran pada titik ukur 0,1 V/100 Hz secara otomatis adalah $2,17 \times 10^{-6}$ V dan 9.7×10^{-7} . Untuk nilai ketidakpastian pada titik pengukuran yang lainnya dan peningkatan tingkat ketelitian pengukuran dari proses pengukura Manual dan Otomatis (UM-O) dapat diperoleh sesuai dengan Tabel 3 dan Tabel 4.

7) dari penelitian ini menunjukkan kemantapan kondisi pengukuran karena terjadi pada seluruh rentang ukur selain pada rentang ukur 1 V. Dengan menggunakan metoda Regresi (lihat pada Gambar 8 dan 9), maka proses verifikasi dapat ditetapkan secara kuantitatif bahwa proses pengukuran Otomatis berbasis METCAL dapat meningkatkan ketelitian pengukuran rata-rata mencapai 68% pada frekuensi kerja 50 Hz dan 77% pada frekuensi kerja 1000 kHz.

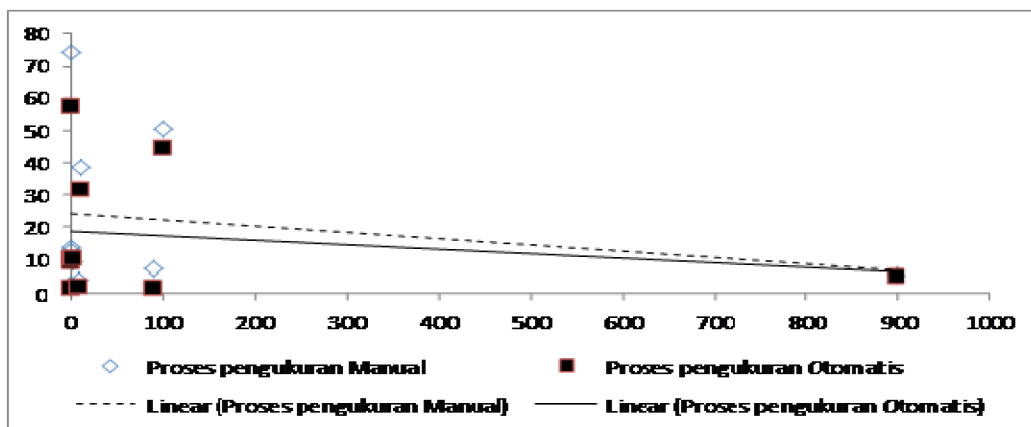


Gambar 8 Perubahan Tingkat Ketelitian dari Proses Pengukuran Manual ke Otomatis Berbasis METCAL pada Frekuensi 50 Hz

Tabel 4 Hasil Perhitungan Nilai Standard Deviasi (S), Ketidakpastian Pengukuran (U) dan Peningkatan Ketelitian Pengukuran (U_{M-O}) pada Frekuensi 100 Hz

Rentang (V)	S_{Manual}	U_{Manual} (V)	U_{Manual} (ppm)	$S_{Otomatis}$	$U_{Otomatis}$ (V)	$U_{Otomatis}$ (ppm)	Peningkatan Ketelitian U_{M-O} (%)
0.022	7.29E-07	3.3E-07	15	5.26E-07	2.4E-07	11	39
0.09	8.91E-07	4E-07	4	6.80E-07	3E-07	3	31
0.1	2.70E-06	1.2E-06	12	2.17E-06	9.7E-07	10	24
0.9	6.96E-06	3.1E-06	3	2.70E-06	1.2E-06	1	158
1	3.08E-05	1.4E-05	14	3.16E-05	1.4E-05	14	-3
9	7.04E-05	3.1E-05	3	6.07E-05	2.7E-05	3	16
10	3.77E-04	0.00017	17	3.21E-04	0.00014	14	17
90	1.69E-03	0.00076	8	3.08E-04	0.00014	2	449
100	2.35E-03	0.00105	11	1.82E-03	0.00081	8	29
900	5.17E-03	0.00231	3	4.83E-03	0.00216	2	7

Catatan: U_{M-O} adalah beda ketidakpastian pengukuran dari proses pengukuran Manual ke Otomatis. Nilai positif menunjukkan terjadinya peningkatan tingkat ketelitian pengukuran



Gambar 9 Perubahan Tingkat Ketelitian dari Proses Pengukuran Manual ke Otomatis Berbasis METCAL pada Frekuensi 1000 Hz

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan sebuah penelitian mengenai sistem pengukuran standar tegangan AC dari rentang 0,022 V sampai dengan 900 V pada frekuensi 50 Hz dan 1 kHz. Sistem pengukuran dilakukan berdasarkan proses pengukuran manual dan otomatis berbasis METCAL. Langkah verifikasi telah dapat dilakukan berdasarkan dua proses eksperimen pengukuran tersebut bahwa proses pengukuran Otomatis mampu meningkatkan ketelitian pengukuran rata rata mencapai 68 % pada frekuensi 50 Hz dan 77 % pada frekuensi 1000 Hz.

Penelitian ini bisa dilanjutkan dengan mengembangkan perangkat lunak METCAL lebih jauh dengan memasukkan estimasi komponen-komponen ketidakpastian dan pernyataan-pernyataan standar yang dapat diekspor sesuai dengan format sertifikat secara langsung sehingga dapat dijadikan data base pengukuran

Puslit KIM-LIPI. Diakses dari <http://skl4fisika.blogspot.com/2010/10/rangkaian-arus-bolak-balik.html>

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. (1995). "Using The ISO GUM", Ver. 3.3, 1995, CSIRO Division of Applied Physics, Melbourne Branch, Clayton.
- User's Guide Agilent 34401A 6 ½ Digit Multimeter, Agilent Technologies, Inc. 1991 – 2007.
- Operators Manual 5700A/5720A Series II, Multi-Function Calibrator, May 1996 Rev. 2, 3/05© 1996, 2002, 2005 Fluke Corporation, All rights reserved. Printed in U.S.A.
- Preben Howarth dan Fiona Redgrave. (2008). *Metrologi Sebuah Pengantar*. Diterjemahkan oleh A.Praba Drijarkara dan Ghufroon Zaid Puslit. KIM-LIPI: Jakarta.
- (2002). *Fluke Metrology Software*. Fluke corporation: United States of America.
- Tim KIM-LIPI. (2011). *Modul Pelatihan Ketidakpastian*. Puslit KIM-LIPI.
- (2011). *Modul Pelatihan Pengukuran dan Pengukuran Tegangan dan Arus AC/DC*.